УДК 330.142.211

А.Е.АЧКАСОВ, д-р экон. наук
*Харьковская национальная академия городского хозяйства*
И.М.ПИСАРЕВСКИЙ, канд. техн. наук
*Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, г.Харьков*

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИНАНСОВО-ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ (на примере организации строительства и реконструкции участков железных дорог)

Приводится алгоритм, позволяющий определить оптимальные сроки и объемы финансирования процессов реконструкции участка железной дороги.

Организация реконструктивных мероприятий на железной дороге предусматривает рассмотрение большого количества проектных решений и выбор наилучшего. Однако, определение принадлежности отдельного проектного решения к числу наилучших предусматривает учет возможностей изменения финансовых и временных параметров, которые могут существенно влиять на уровень эффективности конкретного проектного решения.

Существующие подходы к формированию проекта организации строительства реконструкции участка железной дороги, которые достаточно подробно представлены в работах российских ученых [1, 2], не рассматривают вопросов, детализирующих его по конечной готовой товарной продукции «перегон». Они исходят с позиций проектирования всего участка, что не позволяет учитывать финансовые ограничения или оптимизировать процесс реконструкции, тем более что проект организации строительства первичный, а определение объема финансирование и его распределение – вторично.

Целью данной работы является обоснование финансово-временных параметров проектов реконструкции участка железной дороги по определению оптимальных финансовых (по объемам и моментам привлечения) и временных показателей.

Экспериментальным путем показано [3], что зависимость стоимости строительства Q от продолжительности работ T в общем виде можно изобразить кривой, представленной на рис.1е и показывающей, что при очень малых сроках строительства его сметная стоимость выше минимальной и только при оптимальной продолжительности она минимальна. С увеличением продолжительности строительства его сметная стоимость растет. Подобную кривую достаточно хорошо приближает функция $(\beta_j^c T_{i,j}^2 + \beta_j^u)/T_{i,j}$ от переменной $T_{i,j} = T_{i,j}^{факт}/T_{i,j}^{норм}$. Коэффициенты $\beta_j^c, \beta_j^u$ определяют технологическую зависимость постоянных и переменных расходов от продолжительности процесса реконструкции.

На рис.1а-1е показана зависимость первого (постоянных издержек) и второго (переменных издержек) слагаемого функции от времени реконструкции для различной продолжительности проектов.

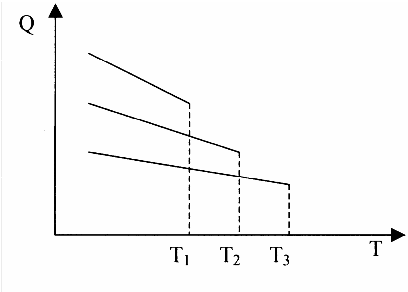


Рис.1а – Постоянные издержки за единицу времени

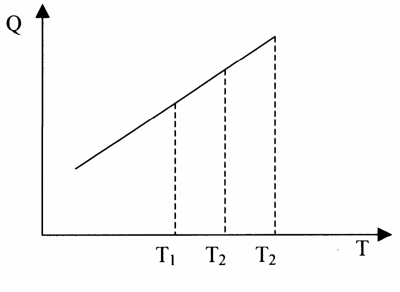


Рис.1б – Совокупные постоянные издержки

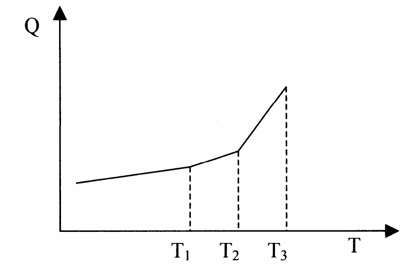


Рис.1в – Переменные издержки за единицу времени

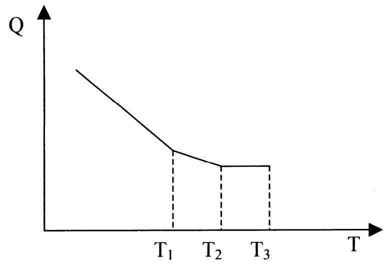


Рис.1г – Совокупные переменные издержки

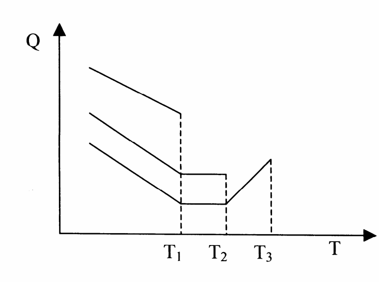


Рис.1д – Стоимость строительства за единицу времени

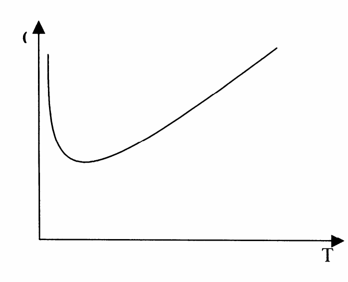


Рис.1е – Общая стоимость строительства

Заметим, что функция выпукла вниз, что существенно при рассмотрении математической модели, а именно при нахождении ее минимума.

Величина

$$\frac{\beta_j^u + \beta_j^c (t_{i,j} - t_{i,j}^*)^2}{t_{i,j} - t_{i,j}^*} \tag{1}$$

показывает затраты на проведение реконструкции на i-м перегоне j-го транспортного участка.

Поскольку средства, выделенные на реконструкцию, ограничены, получим следующее неравенство

$$\frac{\beta_j^u + \beta_j^c (t_{i,j} - t_{i,j}^*)^2}{t_{i,j} - t_{i,j}^*} \le D, \tag{2}$$

которое вместе с неравенством $t_{i,j} > t_{i,j}^*$ дает ограничение на выбор моментов начала и окончания реконструкции перегона данного участка железной дороги.

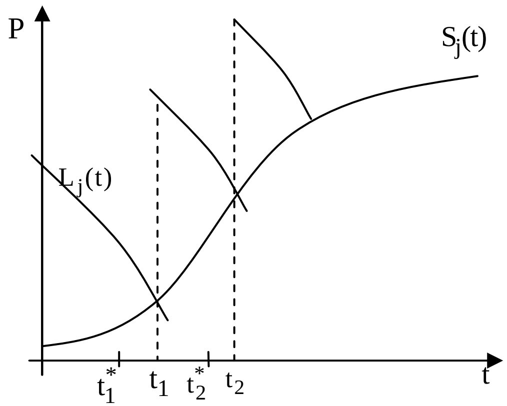


Рис.2 – График роста провозной способности участка железной дороги.

Для установления рациональной этапности усиления мощности железнодорожной линии используется график овладения перевозками (рис.2), на котором отображается потребная $S_j(t)$ и наличная $L_j(t)$ грузонапряженность линии в данном направлении.

Пусть спрос $S_j(t)$ – монотонно возрастающая функция, тогда рост спроса на объем перевозок обусловливает необходимость периодического наращивания мощности железных дорог для повышения возможной провозной способности. Этапное усиление мощности дорог позволяет создать рациональный резерв провозной способности до следующей реконструкции сооружений и устройств железных дорог.

На рис.2 наносятся кривые поперегонной провозной возможности с учетом реконструкции линии с целью поэтапного усиления ее мощности. При назначении основных элементов проектируемой линии необходимы технические параметры постоянных устройств выбирать, ориентируясь на длительную перспективу работы дороги без их изменения, что обусловлено большими трудностями производства СМР в условиях движения поездов, появлением бросовых работ и др. при изменении параметров постоянных устройств в процессе эксплуатации линии. График на рис.2 позволяет сопоставить потребную $S_j(t)$ и наличную $L_j(t)$ провозные способности дороги, а также выявить сроки исчерпывания ее резерва.

Заметим, что при малых величинах резерва провозной способности $c_{i,j}$ может потребоваться частое переустройство линии, что создает значительные помехи нормальной эксплуатации железных дорог и обусловливает повышение стоимости мероприятий по этапному наращиванию мощности линии из-за повторного развертывания фронта. Таким образом, выбор констант приращения $c_{i,j}$ провозной способности играет достаточно важную роль.

Очевидно, что функция пропускной способности в единицу времени $L_j(t)$ монотонно убывает ввиду технических составляющих (износа путей, станций, железнодорожных составов и др.). Таким образом, для получения максимальной прибыли необходимо закончить реконструкцию не позже момента времени, в который пересекаются функции $L_j(t)$ и $S_j(t)$. Если закончить ранее, то, возможно, потратим больше средств на реконструкцию и возникнет интервал времени, на котором происходит омертвление капитальных вложений. Если же закончить реконструкцию позже, то потеряется часть заказов на перевозку пассажиров или грузов, что, опять таки, скажется негативно на получении прибыли. Скачок функции $L_j(t)$ обусловлен проведенной реконструкцией и количественно равен константе $c_{i,j}$. Учитывая вышесказанное, получим, что момент окончания реконструкции участка железной дороги на интервале $[t_{i,j}, T]$ находится из нелинейного уравнения

$$S_j(t) = L_j(t), \quad t > t_{i,j}, \tag{3}$$

которое можно переписать, ввиду монотонности функции $S_j(t)$, как

$$t - S_j^{-1}(L_j(t)) = 0, \qquad t > t_{i,j}, \qquad (4)$$

где $S_j^{-1}$ – обратная функция к функции спроса $S_j(t)$. Ввиду монотонного возрастания функции спроса $S_j(t)$ и монотонного убывания функции $L_j(t)$ уравнение (3) всегда будет иметь решение. Уравнение (4) решается на компьютере с использованием теории численных методов, например, метода Ньютона, метода дихотомии, метода секущих, метода градиентного спуска и т.д. [4].

Исследования [5] свидетельствуют, что чем ближе линия финансирования прижимается к сроку окончания строительства, тем эффективнее капиталовложения, но, с другой стороны, как видно из вида функции стоимости строительства, слишком маленькое время реконструкции влечет все большие затраты. Отсюда следует необходимость в поиске оптимального времени начала строительства, а по существу – времени строительства с окончанием в необходимый момент времени.

Исходя из математической модели, момент начала реконструкции участка железной дороги выбирается таким образом, что бы целевая функция $P(t^*_{i,j}, t_{i,j})$ достигла своего максимума, т.е. функция $(\beta_j^c T_{i,j}^2 + \beta_j^u)/T_{i,j}$ достигла своего минимума (затраты на реконструкцию стали минимальными при максимальной эффективности капиталовложений).

Предположим, что нам известен момент окончания строительства $t_{i,j}$ участка железной дороги. При этих предположениях целевая функция прибыли $P(t^*_{i,j}, t_{i,j})$ имеет вид, приведенный на рис.3.

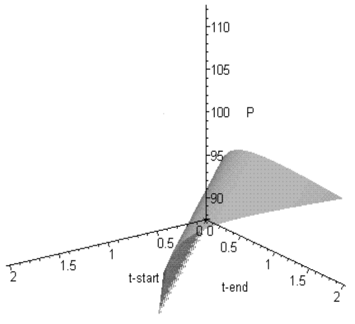

Рис.3 – Общий вид функции $P(t^*_{i,j}, t_{i,j})$

Исследуем общий вид функции $P(t^*_{i,j}, t_{i,j})$. Для нахождения экстремальных точек в исследуемой области рассмотрим первый дифференциал функции $P(t^*_{i,j}, t_{i,j})$ как функции одной переменной $t_{i,j}^*$, так как переменную $t_{i,j}$ считаем известной, имеем

$$dP(t_{i,j}^*, t_{i,j}) = \frac{1}{(1+\gamma_{i,j})^{i-1}}\left(\beta_j^c - \frac{\beta_j^u}{(t_{i,j}-t_{i,j}^*)^2}\right)dt_{i,j}^*. \qquad (5)$$

Второй дифференциал позволяет исследовать функцию на выпуклость, находить точки перегиба и играет существенную роль в исследовании функции. Возьмем второй дифференциал функции $P(t_{i,j}^*, t_{i,j})$ на каждом интервале времени $[t_{i,j}^*, t_{i,j}]$ и убедимся, что функция $P(t_{i,j}^*, t_{i,j})$ выпукла вверх, получим

$$d^2P(t_{i,j}^*, t_{i,j}) = -\frac{2\beta_j^u}{(1+\gamma_{i,j})^{i-1}(t_{i,j}-t_{i,j}^*)^3}(dt_{i,j}^*)^2. \qquad (6)$$

Используя неравенство $t_{i,j} > t_{i,j}^*$, получим, что выполнено неравенство $(t_{i,j}-t_{i,j}^*)^3 > 0$, т.е. вторая производная целевой функции меньше нуля, а значит – функция $P(t_{i,j}^*, t_{i,j})$ выпукла вниз. Найдем максимум целевой функции $P(t_{i,j}^*, t_{i,j})$ на интервале $[t_{i-1,j}^*, t_{i,j}]$.

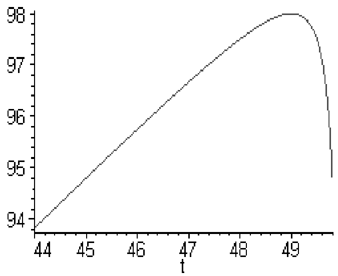


Рис.4 – Расположение максимума функции $P(t_{i,j}^*, t_{i,j})$ как функции одной переменной

Используя (5), получим уравнение

$$\beta_j^c - \frac{\beta_j^u}{(t_{i,j}-t_{i,j}^*)^2} = 0,$$

из которого найдем момент начала реконструкции участка ж/д:

$$t_{i,j}^* = t_{i,j} - \sqrt{\beta_j^u/\beta_j^c}$$

(эта точка максимума показана на рис.4):

Ввиду того, что имеется ограничение (2) на объем израсходованных средств необходимо использовать необходимые условия Куна-Такера, которые применяются при наличии ограничений в виде неравенства [6]. Полученный максимум $t^*_{i,j}$ необходимо подставить в условия (7). Если условия выполняются, то мы нашли «правильный» максимум, если же условия не выполняются, то это означает, что собственных средств не хватило, т.е. возможно имеет смысл взять кредит. Эффективность использования кредита оценим ниже:

$$\frac{\partial P}{\partial t^*_{i,j}} + u_1\left(\beta^c_j - \frac{\beta^u_j}{(t_{i,j} - t^*_{i,j})^2}\right) = 0, \tag{7}$$

$$D - \frac{\beta^u_j + \beta^c_j (t_{i,j} - t^*_{i,j})^2}{t_{i,j} - t^*_{i,j}} \geq 0,$$

$$u_1\left(D - \frac{\beta^c_j (t_{2,i} - t_{1,i})^2 + \beta^u_j}{t_{2,i} - t_{1,i}}\right) = 0, \quad u_1 \geq 0.$$

Теперь рассмотрим ситуацию, когда собственных средств недостаточно для реконструкции, и мы привлекаем дополнительные средства. Пусть объем занимаемых средств на $i$-м участке составил $D_{i,j}$. Целевая функция получит еще одно слагаемое – выплату заемных средств; получим новое представление изменения целевой функции прибыли за время $[t_{i-1,j}, t_{i,j}]$:

$$\Delta P(t^*_{i,j}, t_{i,j}) = \frac{1}{(1+\gamma_{i,j})^{i-1}}\left[\int\limits_{t_{i-1,j}}^{t_{i,j}} \alpha_j S_j(t)dt - \frac{\beta^u_j + \beta^c_j (t_{i,j} - t^*_{i,j})^2}{t_{i,j} - t^*_{i,j}} - \right.$$

$$\left. - D_{i,j}\left(1 + \int\limits_{t^*_{i,j}}^{t_{i,j}} \mu_{j} dt\right)\right].$$

Здесь коэффициент $\mu_j$ означает процентную ставку займа. Соответственно изменится и оптимальное время начала реконструкции участка. Решив уравнение $dP(t^*_{i,j}, t_{i,j}) = 0$, получим оптимальное значение

$t_{i,j}^{*}$, а именно $t_{i,j}^{*} = t_{i,j} - \sqrt{\dfrac{\beta_j^u}{\beta_j^c + D_{i,j}\mu_j}}$. Второй дифференциал функции $P(t_{i,j}^{*}, t_{i,j})$ свой вид не изменит в силу линейности функции возврата заемных средств.

Далее, сравним ситуации с использованием заемных средств и отказом от реконструкции. Опустив коэффициент дисконтирования, который не играет роли при сравнении указанных ситуаций. Ограничение (2) учитываться не будет, так как используем заемный капитал.

В случае отказа от заемных средств возможность объема перевозок будет ограничиваться не спросом, а пропускной способностью транспортных путей, соответственно, прибыль будет определяться:

$$\Delta P_L = \left. \int_{t_{i-1,j}}^{T} \kappa_j L_j(t) dt \right]. \tag{8}$$

Выбрав оптимально начало реконструкции участка $t_{i,j}^{*} = t_{i,j} - \sqrt{\dfrac{\beta_j^u}{\beta_j^c + D_{i,j}\mu_j}}$ (таким образом, что количество возможных грузоперевозок будет выше, чем спрос на них), получим прибыль

$$\Delta P_S = \left. \int_{t_{i-1,j}}^{T} \alpha_j S_j(t) dt - d_j \right], \tag{9}$$

где $d_j = \dfrac{\beta_j^u + \dfrac{\beta_j^u}{\beta_j^c + D_{i,j}\mu_j}}{\sqrt{\dfrac{\beta_j^u}{\beta_j^c + D_{i,j}\mu_j}}} - D_{i,j}\left(1 + \mu_j\sqrt{\dfrac{\beta_j^u}{\beta_j^c + D_{i,j}\mu_j}}\right)$.

Во-первых, в этой ситуации прибыль $\Delta P_S$ уже сама должна быть положительной. Отсюда имеем условие $\Delta P_S > 0$. Далее, рассмотрим разность $\Delta P_S - \Delta P_L$ и найдем условия, когда она положительна. Эти условия включают в себя условие $\Delta P_S > 0$. Имеем

$$\Delta P_S - \Delta P_L = \left.\int\limits_{t_{i-1,j}}^{T} \alpha_j S_j(t) dt - d_j \right] - \int\limits_{t_{i-1,j}}^{T} к_j L_j(t) dt =$$

$$= \int\limits_{t_{i-1,j}}^{T} [\alpha_j S_j(t) - к_j L_j(t)] dt - d_j .$$

Условия, при которых разность $\Delta P_S - \Delta P_L > 0$, и дадут ответ, в каком случае необходимо пользоваться кредитом, а когда нет. Эти условия накладываются на скорость роста функции спроса $S_j(t)$ и на скорость падения удельной провозной способности $L_j(t)$, а также на интервал времени, за который происходит указанное действие. Условий может быть достаточно много и они могут быть разными для каждого класса функций $S_j(t)$ и $L_j(t)$.

Для примера, приведем достаточное условие выполнения неравенства $\Delta P_S - \Delta P_L > 0$. Используя теорему о среднем значении интеграла [7], получим условие:

$$S_j(\tilde{t}) > \frac{d_j + \int\limits_{t_{i-1,j}}^{T} к_j L_j(t) dt}{\alpha_j (T - t_{i-1,j})}, \tag{10}$$

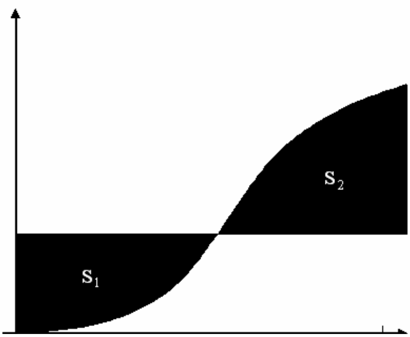


Рис.5 – Геометрическая трактовка условий

где момент времени $\tilde{t}$ лежит на отрезке $[t_{i,j}, T]$. Геометрически это означает, что площадь $S_1$ должна быть меньше площади $S_2$ (рис.5).

Другим примером достаточного условия выполнения неравенства $\Delta P_S - \Delta P_L > 0$ является условие неотрицательности подынтегрального выражения, т.е. если

$\alpha_j S_j(t) - к_j L_j(t) - d_j > 0$, то соответственно выполнено неравенство

$$\int_{t_{i-1,j}}^{T} [\alpha_j S_j(t) - к_j L_j(t)]dt - d_j > 0,$$

а это означает, что значение интеграла из $\Delta P_S$ будет больше, чем константа $d_j$ с временем строительства $T - t_{i,j} > 1$.

Перейдем от рассмотрения одного проекта к рассмотрению нескольких, занумерованных индексом $j$. Естественно рассматривать в первую очередь те проекты, которые принесут наибольшую прибыль, т.е. те транспортные линии, на которые максимальный спрос и минимальная цена реконструкции. Опишем подробно процедуру реконструкции перегонов транспортных линий железной дороги с учетом получения максимальной прибыли.

Выбрать проекты, по которым функция спроса $S_j(t)$ растет, например, сравнить величины $\frac{dS_j(t)}{dt}$.

На интервале времени $[t_0, T]$ получить последовательность моментов времени $t_{1,j}$ – моментов пересечения функций $S_j(t)$ и $L_j(t)$, которые описаны выше, с использованием одного из способов вычисления корней теории численных методов.

Упорядочить проекты по возрастанию величины $\Delta P_S$, что соответствует упорядочиванию по возрастанию ожидаемой прибыли.

Перебрать проекты по возрастанию и рассчитать оптимальные моменты времени для начала реконструкции $t^*_{i,j}$, пока не исчерпаются собственные средства на реконструкцию D.

Если в выбранной последовательности проектов после шага 4 остались проекты, то, используя ограничения $\Delta P_S - \Delta P_L > 0$, решить вопрос о необходимости привлечения заемных средств.

Для каждого выбранного проекта на шаге 4 и 5 необходимо пересчитать функцию $L_j(t)$ на интервал времени $[t_{1,j}, T]$ как $L_j(t) := L_j(t) + c_{1,j}$ – результат реконструкции перегона.

Повторить процедуру 1-6, но уже для интервалов времени

$[\min\{t_{1,j}\}, T]$.

Разработанный метод применим для расчета оптимальной прибыли $P(t^*_{i,j}, t_{i,j})$ и сроков начала строительства $t^*_{i,j}$ на электронно-вычислительных машинах. В теории алгоритмов [4] приемлемой сложностью считается та сложность, оценка которой растет полиноминально от количества входных данных. Сложность пункта 2, т.е. количество операций для нахождения корня нелинейного уравнения (3), имеет порядок $\underline{O}(\log(\varepsilon))$. Сложность указанного метода зависит от количества проектов $n$ и от количества перегонов $n_j$ имеет порядок $\underline{O}(n \cdot \max\{n_j\}) = \underline{O}(n \cdot \max\{n_j\}) + \underline{O}(\log(\varepsilon))$, что является достаточно хорошей оценкой в теории алгоритмов.

1.Вопросы планирования и организации строительства железных дорог / Под ред. Г.Н.Жинкина. – М.: Транспорт, 1978. – 248 с.

2.Организация и планирование железнодорожного строительства / Г.Н.Жинкин, И.В.Прокудин, И.А.Грачев, Э.С.Спиридов, С.К.Терлецкий: Под ред. Г.Н.Жинкина и И.В.Прокудина. – М.: Желдориздат, 1999. – 700 с.

3.Писаревский И.М. Комплексные методы организации строительства вторых путей: Дис... канд. техн. наук: 05.23.13. – М., 1990. – 249 с.

4.Крылов В.И., Бобков В.В., Монастырный П.И. Вычислительный методы. Т.1. – М. Наука, 1976. – 302 с.

5.Писаревський І.М. Удосконалення організації управління економічними процесами: часовий, фінансовий та організаційний аспекти (на прикладі будівництва і реконструкції залізниць України). – Харків: УкрДАЗТ, 2004. – 227 с.

6.Кутковецький В.Я. Дослідження операцій. – К.: Вид. дім ”Професіонал”, 2004. – 350 с.

7.Кудрявцев Л.Д. Курс математического анализа. – М.: Высш. шк., 1988. – 712 с.

*Получено 15.11.2005*

УДК 631 : 331

С.І.ПЛОТНИЦЬКА, канд. екон. наук
*Харківська національна академія міського господарства*

## РОЛЬ ЖИТЛОВОГО ФАКТОРУ В ПІДВИЩЕННІ ЖИТТЄВОГО РІВНЯ НАСЕЛЕННЯ СІЛЬСЬКИХ РЕГІОНІВ

Акцентується увага на ролі житлового фактору в соціально-економічній складовій розвитку сільських територій.

Вирішення житлової проблеми – основна складова соціальної політики відродження українського села, оскільки від наявності житла та житлових умов безпосередньо залежить якість життя населення, а звідси – і демографічна ситуація в сільській місцевості. Таким чином,